مطالعه و بررسی عددی فیلتر های کیسه ای کارخانجات سیمان

محمد علی دبیری [۱]، سید امیر عباس علومی [۲*]، سید علی آقا میر جلیلی [۳] و امیرحسین نگهی [۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
[۳] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
[۴] کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد،ایران

دریافت: پاییز۹۶ پذیرش: زمستان ۹۶

چکیده

با توجه به فیلترهای موجود در ایران ، که تماماً به صورت مکعبی می‌باشند و فیلتر سیلندری تاکنون استفاده نشده است. یکی از عمده‌ترین دلایل استفاده نکردن از این فیلتر، حمل و نقل آن به کشور ما وهم چنین عدم استفاده در فیلترهای بزرگ بوده است. با توجه به تجربه و بررسی‌های به عمل آمده در فیلترهای موجود در ایران تمامی صفحه های مانع در طرح‌های قدیمی به صورت مستقیم روبه روی ورودی قرار گرفته و ورودی فیلتر نیز در بدنه اصلی قرار گرفته و این موضوع باعث پرت فضا به دلیل فاصله صفحه از ورودی خواهد شد که حداقل این فاصله در کوچکترین فیلترها ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد که در صورت محاسبه در طول و عرض و ارتفاع فیلتر فضای قابل توجه ای پرت شده و عملکرد صفحه در طرح قدیم نیز اصلاً خوب نبوده و کاملاً غبار را به یک یا دو سمت فیلتر سوق خواهد داد و توضیع خوبی بین کیسه‌ها نخواهد داشت. با توجه به موارد ذکر شده در این مقاله به بررسی صفحه مانع های مرسوم در ایران و ارایه طرح جدید صفحه مانع پرداخته می شود.

* **عهده‌دار مکاتبات: amiroloomi@iauyazd.ac.ir**

کلمات کلیدی: فیلتر کیسه ای، صفحه مانع، فیلتر پالس جت، گرد و غبار، کارخانه سیمان.

۱- مقدمه

هوایی که تنفس می‌کنیم مخلوطی از گازهاست که به طور تقریبی از ۲۱٪ اکسیژن، ۸۷٪ ازت و ۱٪ آرگون و مقدار کمی از گازهای نادر تشکیل شده است. در هوای تنفسی انسان ذرات و گازهای دیگری هم وجود دارد که طبعیت، انسان و فرایندهای صنعتی عامل تولید آن می‌باشند. غباری که توسط غبارگیرها از هوا جدا می‌شود از دیدگاه‌های قوانین زیست محیطی و اثرات اقتصادی بازیافت غبار قابل تأمل است. باتوجه به مقوله آلودگی صنعتی در جوامع پیشرفته‌ی جهان، سالهای زیادی است که بشر در تلاش برای رفع این آلایندگی‌ها قدم‌های بسزای برداشته است که در اوایل این تکنولوژی انواع و اقسام فیلترها بررسی و طی سالهای بسیار آزمایش شده است که از جمله این فیلترهای قدیمی می‌توان به فیلترهای شنی اشاره کرد که در صنایعی مانند سیمان کاربرد زیادی داشته است[۱]. امروزه صنایع بسیاری با این مشکل مواجه هستند که گازهای خروجی آنها حاوی ذرات فراوانی است (ذره‌ای شدن ماده). از میان انواع مختلف دستگاههای کنترل ذرات و کاهش غبار خروجی می‌توان به فیلترهای الکتروستاتیک و فیلترهای پارچه‌ای اشاره کرد. فیلتر های پارچه ای، به مقیاس گسترده‌ای در جمع آوری غبار مورد استفاده واقع می‌شوند. کاربرد آنها در جداسازی ذرات غبار از جریان گازها از ده‌ها سال پیش آغاز شده است[۲]. در حقیقت جداسازی غبار از هوا به عنوان عامل و اساس فلسفه طراحی یک غبارگیر می‌باشد. هم اکنون فیلتر های کیسه ای در بسیاری از صنایع (همچون صنایع فولاد، سیمان، داروسازی، شیمیایی، فلزی، دفع زباله‌ها و...) به علت جمع شدن ذرات در اندازه‌های گوناگون، مورد استفاده قرار می‌گیرند[۳].جف لدوینگ و همکاران [۴] پس از بررسی این موارد به بررسی سیستم بگ فیلتر پرداخته که باعث جلوگیری از افت فشار و حرکت غبار های پراکنده به سمت خروجی و به بازده بیشتر سیستم کمک بسزایی کرده است . روناک [۵] در مقاله خود به تئوری های طراحی بگ هاوس در بخش سوم و در ویرایش سال ۲۰۰۲ پرداخته که حرکت غبار و ذرات را در فیلتر به صورت تئوری مورد مطالعه قرار داده است . تیلور و فرانسیس[۶] به بررسی نحوه تکانیده شدن کیسه های بگ فیلتر پرداخته و باتوجه به حجم و فشار کم هوا در مخزن ذخیره به بررسی شیپوره پرداخته و نتایج حاصل از این قرار است که در صورت قرار گیری خروجی هوای فشرده در روی کیسه هوای فشرده جهت تمیز کردن کامل کیسه ها کافی نبوده اما با گذاشتن فاصله از

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.2.9]

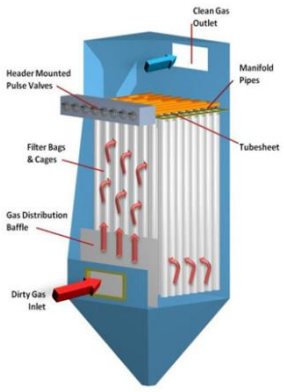
کیسه و همچنین قرار گیری شیپوره روی کیسه علاوه بر هوای فشرده هوای اطراف نیز به داخل کیسه هدایت میشود و راندمان تکانیدن کیسه ها بالا می رود . الما و همکاران [۷] در مقاله خودشان به مدلسازی عددی نفوذ سیال و ذرات غبار از طریق سیستم های غبارگیر پرداخته و نتایج قابل توجهی بدست آورده اند. البرشت و کیتلمن[۸] به بررسی و بهینه سازی پارچه های فیلترهای غبارگیر پرداخته اند. محسن محمدی و بانک لی [۹] در مقاله خود به نفوذ پذیری هوا در منسوجات چند لایه پرداخته و در آن به بررسی و مقایسه نتایج عملی و نظری روی آورده اند. اتاویوک و بی نوریل [۱۰] در مقاله خود به برآورد هزینه سیستم های کنترل هوا و طراحی بهینه جهت کم کردن هزینه ساخت پرداخته اند. ویلسلندر و همکاران [۱۱] به افزایش موثر سطح فیلتراسیون و فیلترهای پارچه ای پرداخته و به این نتیجه رسیده اند که ما نمی توانیم به هر شکل و مقداری که نیاز داریم ارتفاع فیلترها را افزایش دهیم و به رابطه تئوری جهت ارتفاع فیلتر و اثرات جاذبه بر روی ذرانت غبار رسیده اند.

۲- اصول اصلی و عملکرد فیلترهای پالس جت

فیلترهای پالس جت جهت عملکردهای پیوسته و زمان کارکرد طولانی با داشتن کمترین هزینه نگهداری طراحی و سایز بندی می‌شوند. فیلترهای پالس جت شامل ردیف‌های از فیلترهای کیسه‌ای است که از صفحات مشبکی که در دو ناحیه که گاز عاری از غبار و گاز همراه غبار را از هم جدا می‌کند، آویزان می‌گردند. هر بگ دارای یک سبد سیمی داخلی است که به عنوان ساپورت بگ استفاده شده و از هر گونه آسیب رسیدن به بگ ها جلوگیری می‌نماید. جریان توأم با غبار از منیفولد ورودی به فیلتر عبور کرده و وارد فیلتر می‌گردد. غبار بر روی سطح خارجی بگ ها نشسته و گاز تمیز عاری از غبار از داخل آنها به قسمت بالایی فیلتر رفته و از آنجا از طریق داکت خروجی و دودکش خارج می‌شود. این غبارها از سطح خارجی بگ ها توسط پالس‌هایی از هوای فشرده برداشته می‌شوند[۱۲].

فرمان تمیز کردن بگ ها زمانی صادر می‌شود که اختلاف فشار قسمت داخلی و بیرونی بگ ها به میزان پیش تعریف شده برسد. (این اختلاف فشار از مقاومت ناشی از انباشت غبار در سطح خارجی بگ ها حاصل می‌شود). در طول تمیز کردن بگ ها غبارها در داخل هاپرها ریخته شده و توسط سیستم های انتقال مواد خارج می‌گردند[۱۳].

پس از ورود غبار مقدار زیادی از غبار سنگین (دانه درشت) مستقیماً درون هاپرخواهد افتاد و گاز با مقدار باقی مانده بین بگ ها حرکت خواهد نمود. سرعت گاز با انتخاب مناسب ابعاد (طول بگ و گام یا فواصل بگ ها از یکدیگر) در یک سطح قابل قبول نگاه داشته می‌شود. در سیستم تمیز کردن با روش پالس جت درون محفظه‌ای که حاوی هوای تمیز می‌باشد یک سری لوله‌هایی در ردیف‌های موازی در داخل تاپ باکس تعبیه شده که به منظور تمیز کردن بگ ها در نظر گرفته شده‌اند. هر لوله پاک کننده دارای یک سری نازل‌هایی است با سوراخ‌های کوچک که به صورت هم محور با ونتوری هر سبد یا بگ مونتاژ گردیده‌اند. یک مانیفولد هوایی فشرده که به صورت خارجی در موقعیت بالایی فیلتر قرار می‌گیرد، به لوله‌های پاک کننده متصل می‌گردند. لوله‌های پاک کننده به روش ساده-ای با مانیفولد خارجی هوا متصل می‌گردند. این لوله‌ها از یک سمت باز توسط سوکت هایی به مانیفولد هوا وصل شده و از سمت بسته‌شان روی ساپورتی که توسط کلمپ هایی فیکس می‌شوند قرار می‌گیرند [۱۴ و ۱۵]. اجازه ورود و یا عدم ورود هوای فشرده به داخل لوله‌های پاک کننده از طریق شیرهای دیافراگمی امکان پذیر می‌باشند. هر یک از این شیرهای دیافراگمی توسط یک سولوئید موجود در سولوئید باکس، تحریک شده و توسط سیستم کنترل، وارد عمل می‌شوند[۱۶].



شکل ۱ : فیلتر کیسه ای با سیستم پالس جت[۱۲].

۳- بررسی صفحه مانع در ورودی فیلترهای کیسه‌ای

در ورودی فیلترهای کیسه‌ای صفحه‌ای قرار گرفته است تا از سرعت غبار در ورودی فیلتر کاسته و از برخورد مستقیم غبار که در شرایطی هم دارای دمای قابل تأمل هستند جلوگیری و باعث اغتشاش در فیلتر و عملکرد بهتر و توضیع غبار در فیلتر شود با توجه به تجربه و بررسی‌های به عمل آمده در فیلترهای موجود در ایران تمامی صفحه های مانع در طرح‌های قدیمی به صورت مستقیم روبه روی ورودی قرار گرفته و ورودی فیلتر نیز در بدنه اصلی قرار گرفته است و این موضوع باعث پرت فضا به دلیل فاصله صفحه از ورودی خواهد شد که حداقل این فاصله در کوچکترین فیلترها ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد که در صورت محاسبه در طول و عرض و ارتفاع فیلتر فضای قابل توجه ای پرت شده است و عملکرد صفحه در طرح قدیم نیز اصلاً خوب نبوده و کاملاً غبار را به یک یا دو سمت فیلتر سوق داده و توضیع خوبی بین کیسه‌ها نداشته است.

شکل ۲ : نمای از فیلتر و نمایش کیسه ها و صفحه مانع

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.2.9]

۴- بررسی شرایط مرزی

جهت بررسی وآنالیز فیلتر از فیلترهای در حال کار در یک کارخانه سیمان استفاده شده است ، سرعت در ورودی ۸ متر برثانیه و فشار فن فیلتر ۳۵۰ میلی بار و دبی هوای فن مکنده را ۱۵۰۰۰ مترمکعب بر ساعت و تعداد کیسه ۳۵ عدد به ارتفاع حدود ۲.۵ متر می‌باشد. محاسبات تعداد فیلتر و ارتفاع آنها بستگی به شرایط غبار و حجم غبار و محاسبات فشار در فیلتر بستگی به فاصله مجراهای مکنده غبار از فیلتر و افت فشار در این مجراها دارد که با توجه به اینکه ما اطلاعی از حجم غبار و فاصله از مکان‌های جمع آوری غبار نداشته بنابراین اطلاعات را از فیلتر موجود گرفته و محاسبات بر این مبنا انجام گرفته شده است.

۵- محاسبات و اعمال شرایط مرزی

جهت بدست آوردن شرایط مرزی برای فیلتر ۳۵ کیسه‌ای دبی هوای فن مکنده را ۱۵۰۰۰ مترمکعب بر ساعت وفشار فن را ۳۵۰ میلی بار درنظر گرفته شده و با توجه به اینکه [۱۶] سرعت در ورودی فیلتر نباید از حد مجاز فراتر رود سرعت را ۸ متر برثانیه تنظیم می‌شود بنابراین:

محاسبه دبی حجمی:

$$Q = V * A \quad (۱)$$

محاسبه سطح مقطع ورودی غبار:

$$A = \frac{Q}{B} = \frac{\frac{1500}{3600}}{8} = \ 0.52 m^2 \quad (۲)$$

محاسبه ابعاد دریچه ورودی غبار:

$$A = W * L = 0.56 = \ 0.8 * 0.7\ m \quad (۳)$$

محاسبه قطر هیدرولیکی:

$$DH = \frac{4 * A}{P} = (4 * 0.56) / (2 * (0.8 + 0.07)) = 7.46 \quad (۴)$$

محاسبه رینولدز:

$$ReDH = (\rho * v * DH)/\mu = 3989702 \quad (۵)$$

محاسبه شدت آشفتگی

$$I = 0.16 * (ReDH)^{\wedge}\left(-\frac{1}{8}\right) = 0.0242 \quad (۶)$$

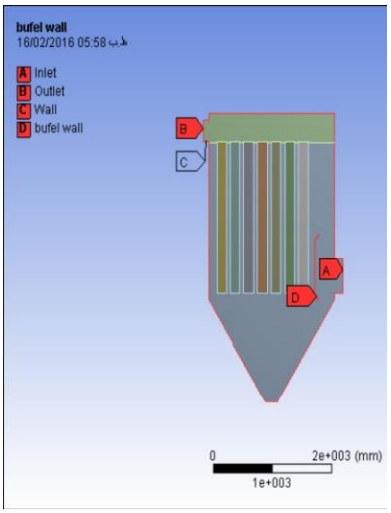
درنتیجه محاسبات فوق موارد بدست آمده زیر به عنوان شرایط مرزی اعمال خواهد شد. شکل(۳)

سرعت در ورودی غبار ۸ متر برثانیه

شدت اغتشاش ۲.۴ درصد

قطر هیدرولیکی ۷.۴۶ متر

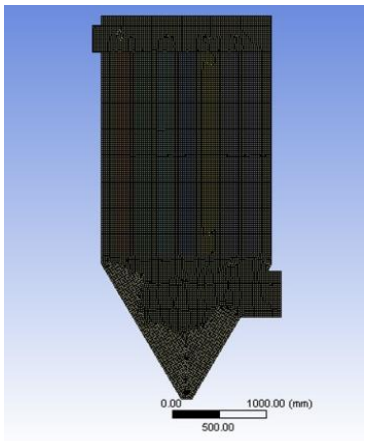
خروجی گاز، فن مکنده با فشار ۳۵۰ میلی بار



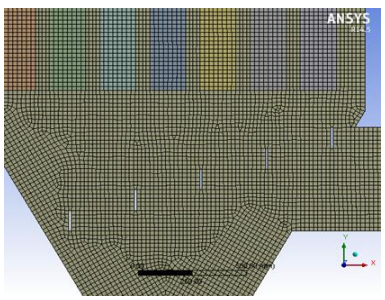
شکل ۳ : اعمال شرایط مرزی

۶- شبکه بندی صفحه مانع طرح جدید

شبکه بندی به صورت کاملاً منظم ترسیم و تعداد ۱۸۴۴۰ نود و تعداد ۱۶۵۳۰ المان نیز تشکیل شده است که به جهت برخورد جریان سیال به صفحه مانع شبکه بندی در این قسمت بزرگ نمایی شده که در شکل (۷) و شکل (۸) مشاهده می‌شود. سعی شده شبکه بندی در قسمت صفحه مانع تمرکز داشته باشد تا نتایج دقیق‌تری از رفتار سیال بدست آید.



شکل ۷ : شبکه بندی صفحه مانع طرح جدید



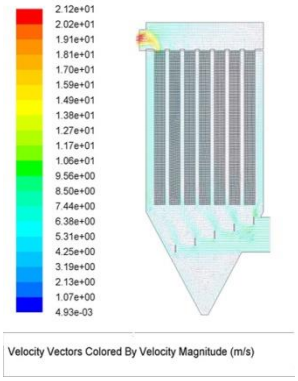
شکل ۸ : بزرگ نمایی شبکه بندی صفحه مانع طرح جدید

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.2.9]

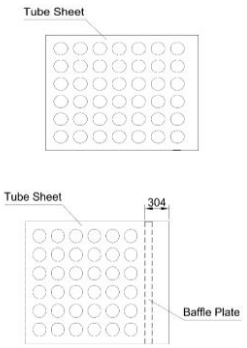
۷- آنالیز صفحه مانع طرح جدید

همانطور که در شکل(۹) مشاهده می‌کنید جریان غبار بین تمامی کیسه‌ها بطور یکنواخت تقسیم شده و دیگر جریان بصورت مستقیم در انتهای هاپر وارد نمی‌شود و موجب تلاطم غبار جمع شده در پایین هاپر نخواد شد. و همچنین با حذف دریچه ورودی غبار از بدنه اصلی و انتقال آن به هاپر از پرت فضا جلوگیری و مقدار قابل توجهی از وزن فیلتر کاسته خواهد شد که این وزن برای شرکت‌های فعال صنعت فیلتراسیون بسیار حائز اهمیت به جهت رقابت و کاهش قیمت خواهد بود.



شکل ۹ : آنالیز صفحه مانع طرح جدید

در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که طرح انتقال ورودی هوا به هاپر در صورت اجرا شدن در فیلترهای کیسه ای از وزن این فیلترها کاسته و بسیار ایده آل از نظر وزن کم فیلتر و همچنین رقابت در صنعت فیلتراسیون می‌باشد.



شکل ۱۰ : نمایی از چیدمان ورق با صفحه مانع طرح قدیم در پایین ، و چیدمان کیسه بیشتر با صفحه مانع طرح جدید

۸- نتیجه گیری

در فیلترهای موجود در ایران تمامی صفحه مانع‌ها در طرح‌های قدیمی به صورت مستقیم روبه روی ورودی قرار گرفته و ورودی فیلتر نیز در بدنه اصلی قرار گرفته است و این موضوع باعث پرت فضا به دلیل فاصله صفحه از ورودی خواهد شد که حداقل این فاصله در کوچکترین فیلترها ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد که در صورت محاسبه در طول و عرض و ارتفاع فیلتر فضای قابل توجه ای پرت شده است و عملکرد صفحه در طرح قدیم نیز اصلاً خوب نبوده و کاملاً غبار را به یک یا دو سمت فیلتر سوق داده و توضیع خوبی بین کیسه‌ها نداشته است.

بعد از آنالیز فیلتر با صفحه مانع طرح قدیم مشاهده شد که در پایین هاپر مشکل بزرگی بوجود می‌آید و آن هم این است که به دلیل سرعت بالای حدود ۱۲ متر بر ثانیه باعث تلاطم در غبار انباشته شده در کف هاپر می‌شود و دوباره غبار به چرخه فیلتراسیون باز می‌گردد و عملاً راندمان فیلتر کاهش میابد. لازم به ذکر است در صورت یک نواخت نبودن غبار بین کیسه‌ها، آن ردیف از کیسه‌ها که در معرض بیشتر غبار قرار دارند خیلی زود مستهلک شده و عمل فیلتر کردن را دچار مشکل می‌کنند و همیشه باید آنها را زودتر از بقیه کیسه‌ها تعویض کرد که این امر خود مستلزم هزینه تعمیر و نگهداری زیاد و هزینه خرید کیسه خواهد بود.

پس از آنالیز فیلتر با صفحه مانع جدید دیده شد که جریان غبار بین تمامی کیسه‌ها بطور یکنواخت تقسیم شده و دیگر جریان بصورت مستقیم در انتهای هاپر وارد نمی‌شود و موجب تلاطم غبار جمع شده در پایین هاپر نخواد شد.

در کوچک‌ترین سایز فیلتر چیزی حدود ۳۰ سانتی متر از عرض فیلترها کم خواهد شد که در این فضا یا می‌توان به تعداد کیسه‌ها اضافه کرد و یا از حجم فیلتر کم کرد که جهت فیلترهای کیسه ای چیزی حدود ۱۰۰ کیلوگرم از هر فیلتر کاسته خواهد شد. افزایش کیسه در چنین حجمی باعث افزایش راندمان، تعمیر و نگهداری کمتر، تعویض دیرتر کیسه‌ها به دلیل پارگی کمتر و صرفه جویی در هزینه برق به جهت پالس های هوایی کمتر در ساعت را در بر خواهد داشت.

فهرست علامت‌ها

علائم انگلیسی	
A	مساحت، m^2
c_p	گرمای ویژه، $J/kg.k$
a	شتاب، m/s^2
d	قطر، m
g	شتاب گرانش، m/s^2
K	ضریب‌هدایت حرارتی، $W/m.k$
V	سرعت، m/s
DH	قطر هیدرولیکی، m
Ra	عدد رایلی
Re	عدد رینولدز
Q	دبی حجمی، m^3/s
I	شدت آشفتگی
علائم یونانی	
ρ	چگالی، kg/m^3
β	ضریب انبساط حرارتی، $1/k$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.2.9]

لزجت دینامیکی، $kg/m.s$	μ
زیرنویس	
سیال	f
هیدرولیکی	H

مراجع

[۱] عابدی، م ر. مفضلی س ع.، بازنگری عملکرد فیلترهای پارچه‌ای، قسمت اول، ماهنامه تخصصی فن اوران سیمان، شماره ۵۴. ۱۳۹۱.

[۲] عطایی آشتیانی م. معطر ف.، بررسی کمی و کیفی منابع انتشار گرد و غبار و سیستمهای کنترل گرد و غبار. پایان نامه تخصصی، بخش دوم و سوم، ۱۳۸۳.

[3] Billings C. E. *Handbook of Fabric Filter Technology*,Springfield, Noyes Publications, Nature -758 pages(1991).

[4] Jeff Ladwig and Robin Linton ,13th North American Waste to Energy Conference May 23-25, Orlando, Florida USA(2005).

[5] Roanoke, V .A., "Fabric Filter-Baghousees,Theory,Design and Selection" Lesson 3 and Lesson 6, Editation (2002).

[6] Nd .Tylor and m .fransis., "Some effects of charges in Fabric Filtration", journal of Air pollution control Association , Volume 24, Issue 12, (1974).

[7]L.Ma, D.B.Ingham and X.Wen, "Numerical modelling of the fluid and particle penetration through small sampling cyclones", Journal of Aerosol Sience, v31, n.9,p 1097-1119, (2000).

[8] M. Mohammadi& P. Banks-Lee ,Air Permeability of Multilayered Nonwoven Fabrics:Comparison of Experimental and Theoretical Results , Textile Research Journal, July (2002).

[9] Vatavuk, W. M., and R. B. Neveril, "Estimating Costs of Air-Pollution Control Systems, Part XI: Estimate the Size and Cost of Baghouses," Chemical Engineering, March 22, pp. 153-158,(1982).

[10] Broadway R M., Cass R W., Fractional Efficiency of a Utility Boiler Baghouse: *Nucla Generating Plant*, August (EPA-600/2-75-013-a, NITS PB 246 641. (1975).

[11] Wieslander, P. and Francis, S., Cost Effectively Increasing the Filtration Area in Fabric Filters for Large Power Plants. Proceedings of 11th International Conference(2008).

[12] Debell H., *Pollution control of cement plant emission*, International cement review, Environmental year book, British Cement Association, U. K. (2000).

[13] Dr. N. Venkatachalapathi, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology Coal Extraction System with Pulse Jet Bag Filter Abinesh* P*, August. (2014).

[14] Duda W H., Cement Data Book- Dust collection, *Bauverlag Gmbh*, Wiesbaden und Berlin. (2000).

[15] Eric S., dust collection design and maintenance, *kice industrial*, Volume 14, Issue 9, December, Pages 3124–3131. (2010).

[16] Frederic E. R., Some effects of charges in Fabric Filtration, journal of Air pollution control Association.August (EPA-600/2-75-013-a, NITS PB 246 641. (2001).

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1397.5.3.2.9]